

Sensor Fiber Optik Dari Bahan Fiber Optik Polimer Untuk Pengukuran Refractive Index Larutan Gula

Nila Wulan Sari, Ahmad Marzuki, Mohtar Yunianto

Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Sebelas Maret.

Jl. Ir. Sutami 36A Surakarta. E-mail: wulansarinila@yahoo.co.id

Received 29-02-2012, Revised 20-04-2012, Accepted 25-04-2012, Published 30-04-2012

ABSTRACT

This paper presents an experimental result on developing an optical fiber sensor for measuring refractive index of sugar solution. Sensor was developed using polymer optical fiber with diameter of 3 mm. This sensor is working based on intensity modulation due to reflection. Light coming out from the transmitter optical fiber is reflected by a mirror to the receiver optical fiber. Due to the variation of sugar concentration in solution surrounding this sensor, the way of light entering the fiber receiver depends on the sugar concentration (numerical aperture). It is clear from the experiment that light intensity detected by photodetector (represented by electric voltage) is linearly dependent ($R^2 = 0.987$) on the variation of sugar solution refractive index.

Keywords: Fiber Optic Sensors, Sensor refractive index, fiber optics, refractive index

ABSTRAK

Paper ini membahas tentang hasil-hasil experiment yang berkaitan pengembangan fiber optik sensor untuk pengukuran refractive indeks larutan gula. Sensor dibuat dengan menggunakan fiber optik polimer berdiameter 3 mm. Sensor bekerja atas dasar modulasi intensitas cahaya karena pemantulan. Cahaya keluar dari fiber transmisi kemudian dipantulkan oleh cermin dan masuk ke dalam fiber penerima. Besar intensitas cahaya yang masuk ke fiber penerima sangat bergantung pada konsentrasi gula (sudut penerimaan). Dari eksperimen tampak bahwa konsentrasi gula berhubungan secara linear terhadap indeks biasnya ($R^2 = 0.987$).

PENDAHULUAN

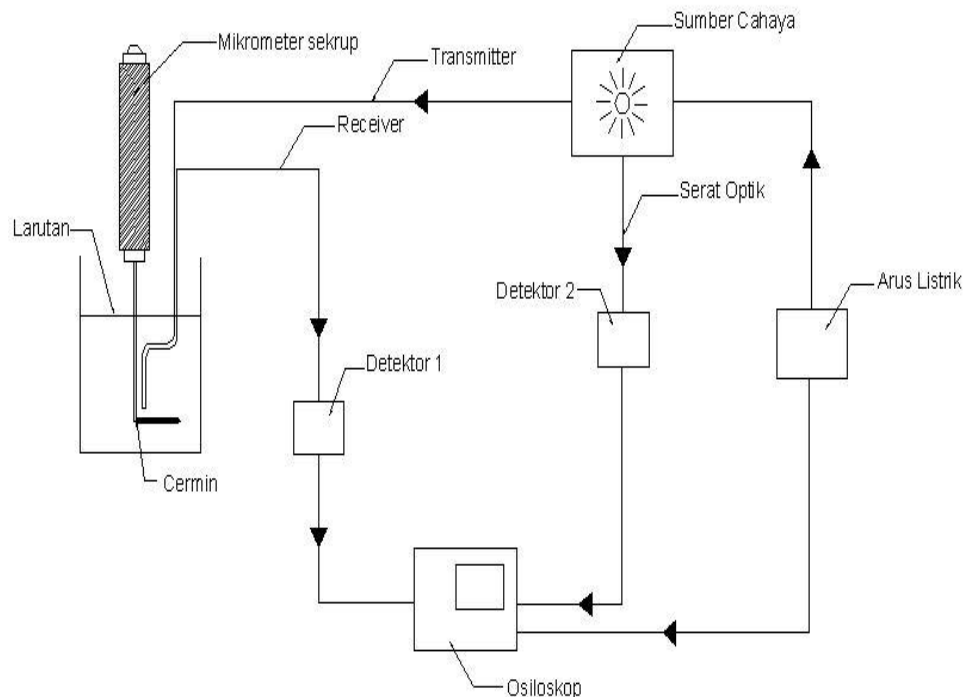
Indeks bias merupakan salah satu sifat optik yang banyak digunakan untuk mencirikan keadaan suatu material transparan. Refractive index suatu material pada suatu panjang gelombang tertentu akan mengalami perubahan bila komposisi material tersebut mengalami perubahan. Beberapa industri karenanya menggunakan ukuran refractive index dalam penetapan kualitas produk solid atau liquid transparannya.

Beberapa metode telah dikembangkan untuk mengukur indeks bias suatu bahan. Beberapa diantaranya adalah metode interferometri (interferometri Mach-Zender, interferometri Fabry-Perot dan interferometri Michelson) ^{[12][3]} dan sudut Brewster ^[4]. Metode-metode ini merupakan metode yang sangat akurat untuk mengukur indeks bias. Kelemahan dari metode ini adalah pengoperasian alatnya rumit dan membutuhkan waktu yang lama. Karena alasan ini metode pengukuran refractive index dengan menggunakan ABBE refractometer banyak dipakai orang. Dibandingkan dengan

metode interferometric ataupun sudut Brewster, pengukuran dengan ABBE refractometer dapat dilakukan dengan cara lebih cepat dan mudah. Masalah dengan alat ukur ini adalah karena ukurannya, alat ini tidak memungkinkan pengukuran refractive index suatu material yang akses untuk mengambilnya tidak mudah ataupun memerlukan pengukuran yang menerus. Sensor refractive index berbasis fiber optik ^{[5][6]} yang saat ini banyak diteliti orang dikembangkan antara lain untuk mengatasi masalah di atas. Fiber sensor yang dikembangkan dalam penelitian ini didesain dengan menggunakan fiber optik berdiameter core 3 mm dan bekerja atas dasar perubahan numerical aperture karena material yang melingkunginya berubah.

METODOLOGI PENELITIAN

Gambar 1 adalah desain experiment fiber sensor berbasis fiber optik berdiameter 3 mm yang bekerja atas dasar perubahan numerical aperture dari fiber saat konsentrasi larutan gula yang melingkunginya berubah. Dalam experiment ini larutan gula yang digunakan adalah konsentrasi 1 molar, 2 molar, 3 molar, 4 molar, dan 5 molar. Salah satu ujung dari untai fiber optik yang ujung-ujungnya telah dipolish digandeng sedemikian hingga tampang lintang dari ujung-ujung yang tergandeng ini ada dalam satu bidang datar. Dua ujung fiber tergandeng ini kemudian dimasukkan dalam larutan gula dengan posisi tampang lintang fiber



Gambar 1. Setup experimen fiber sensor untuk mengukur refraktif indeks larutan gula.

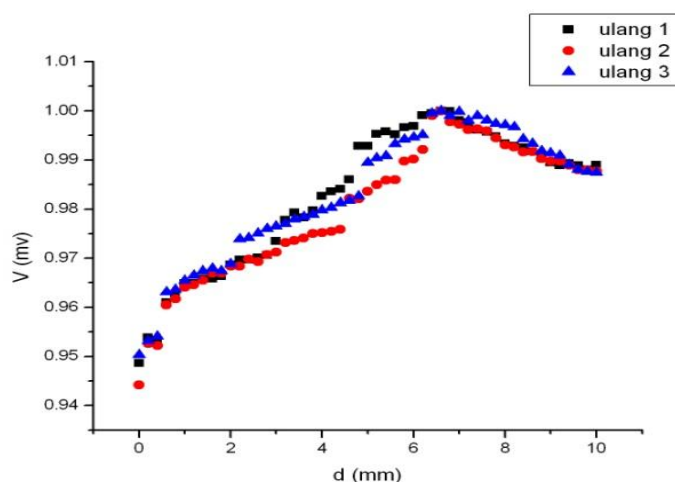
pentransmisi cahaya keluar dalam larutan gula, sudut pancar cahaya yang keluar dari fiber transmitter menuju ke cermin akan berbeda tergantung pada konsentrasi larutan gula yang melingkunginya. Banyak cahaya yang terpantul dari cermin dan masuk ke fiber receiver juga berbeda. Dalam experiment ini cahaya dari receiver ini ditangkap oleh fotodetektor dan hasilnya terbaca oleh osiloskop sebagai perbedaan tegangan listrik. Untuk menjamin bahwa perubahan intensitas cahaya yang diterima receiver hanya timbul karena perubahan konsentrasi larutan gula bukan karena perubahan intensitas cahaya sumber maka cahaya yang keluar dari sumber cahaya dipecah menjadi dua jalur: jalur cahaya referensi menuju detector 2) dan jalur cahaya yang akan dimodulasi (menuju larutan gula). Tugas pemecahan ini dilakukan oleh fiber splitter 50:50. Perubahan intensitas cahaya karena perubahan konsentrasi larutan gula kemudian direpresentasikan oleh perbandingan antara tegangan listrik yang muncul sebagai akibat ditangkapnya cahaya dari larutan gula dengan cahaya dari fiber referensi seperti diberikan oleh:

$$V_{Rel} = \frac{V_{Mod}}{V_{Ref}} \quad (1)$$

Dengan V_{Mod} dan V_{Ref} secara berurutan adalah tegangan puncak ke puncak dari yang ditunjukkan osiloskop dari jalur detektor 1 dan 2.

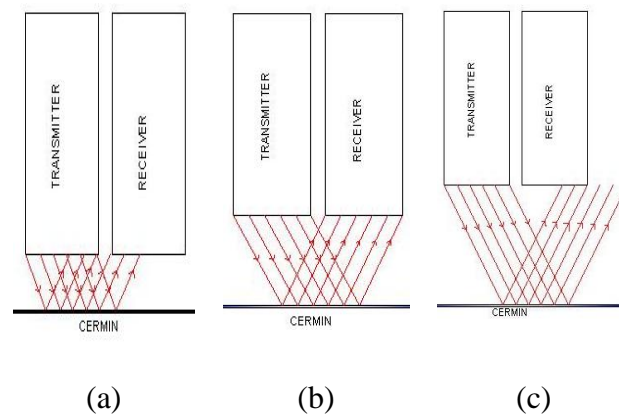
ANALISA

Gambar 2 adalah hasil pengukuran tegangan (yang merepresentasikan intensitas cahaya yang keluar dari fiber optik receiver) sebagai fungsi dari jarak antara cermin dengan fiber optik untuk larutan gula dengan konsentrasi 1 molar. Kurva serupa juga telah didapat untuk konsentrasi gula yang lain. Terlihat dari gambar ini bahwa pengulangan pengukuran tegangan melawan jarak pergeseran cermin menghasilkan menghasilkan curva yang sayap kanan atau kiri dari satu grafik tidak berimpit dengan grafik yang lain. Satu hal yang pasti adalah puncak dari masing-masing grafik terletak pada jarak pergeseran yang tertentu. Bentuk kurva yang demikian adalah tipikal kurva hubungan antara tegangan/intensitas cahaya keluaran dengan jarak/pergeseran cermin relative terhadap ujung fiber [7,8]. Bentuk demikian akan dengan mudah diterangkan dengan menggunakan Gambar 3.



Gambar 2. Hasil grafik hubungan antara jarak dan tegangan untuk larutan gula 1 molar.

Ketika cermin mulai digeser menjauh dari gandengan ujung transmitter dan receiver, receiver hanya menangkap sebagian kecil cahaya dari transmitter (Gambar 3.a). Porsi cahaya yang ditangkap receiver ini akan naik seiring dengan meningkatkannya jarak cermin-ujung fiber. Kenaikan ini akan berhenti pada suatu jarak dimana semua cahaya dari fiber transmitter masuk ke dalam fiber receiver (Gambar 3.b). Bila pergeseran ini dilanjutkan, porsi intensitas cahaya dari transmitter yang masuk ke receiver menjadi berkurang (Gambar 3.c). Hal penting yang perlu dicatat di sini adalah bahwa arah sinar dari fiber transmitter yang tergambar hanya merepresentasikan arah berkas sinar untuk satu mode waveguide pada arah yang dapat ditangkap fiber receiver. Gambar 2 muncul sebagai jumlahan dari semua berkas cahaya dari semua mode waveguide yang ditangkap oleh fiber receiver.



Gambar 3. Model untuk menerangkan bentuk grafik hubungan antara intensitas cahaya yang ditangkap fiber receiver untuk (a) sayap kiri, (b) puncak grafik dan (c) sayap kanan

Bila experiment ini dilanjutkan pada larutan gula dengan konsentrasi yang lain, bentuk grafik serupa juga diperoleh. Pengulangan pengukuran tidak dapat memberikan kurva sayap kiri atau kanan dari satu grafik berimpit dengan grafik yang lain. Sama seperti Gambar 2, posisi puncak dari semua grafik hasil pengulangan adalah sama. Yang membedakan antara grafik satu konsentrasi gula dengan yang lain adalah posisi puncaknya. Tabel 1 menunjukkan hubungan antara posisi puncak grafik pergeseran-tegangan keluaran dengan konsentrasi larutan gula. Terlihat dari tabel ini bahwa posisi puncak grafik akan semakin besar ketika nilai konsentrasi gula meningkat. Hasil ini dapat terjadi karena refractive index larutan gula akan naik ketika konsentrasi larutan juga naik. Sesuai persamaan:

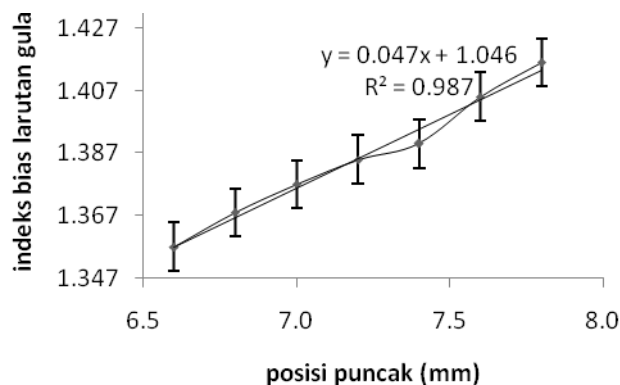
$$NA = n_0 \sin \theta_m = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (2)$$

Dengan NA adalah numerical aperture, adalah sudut penerimaan cahaya oleh fiber optik, dan n_0 , n_1 , n_2 secara berurutan masing-masing adalah index bias larutan gula, core dan cladding fiber optik. Jelas terlihat dari persamaan (2) bahwa ketika index bias dari larutan gula naik, sudut penerimaan θ_m akan turun. Ini berarti bahwa posisi puncak yang bersesuaian proses pada skema gambar 3.b akan semakin besar (jarak antara cermin dengan ujung fiber semakin jauh).

Tabel 1. Indeks bias larutan garam dan gula diambil pada $\lambda = 630 \text{ nm}$

konsentrasi (M)	indek bias	(mm)
1,0	1,357	6,6
1,5	1,368	6,8
2,0	1,377	7,0
2,5	1,385	7,2
3,0	1,390	7,4
4,0	1,405	7,6
5,0	1,416	7,8

Berikutnya, bila untuk tiap konsentrasi gula diukur refractive indexnya dengan alat ukur refractive index standar (dalam penelitian ini dipakai ABBE refractometer) maka dapat dibuat hubungan antara posisi puncak grafik dengan index bias larutan gula (Gambar 4). Terlihat jelas dari gambar ini index bias larutan gula naik secara linear ($R^2 = 0,987$) terhadap posisi puncak grafik tegangan-jarak cermin dengan ujung fiber. Perubahan index bias yang kecil dapat memberikan perubahan posisi puncak yang besar (sensitivitas = $1:0,047 = 21,277$). Melihat hasil-hasil ini, rekomendasi yang dapat diberikan adalah sensor refractive index larutan gula (dapat dikembangkan ke bahan cair lain) dapat dikembangkan dari fiber optik polimer dengan diameter 3 mm.

**Gambar 4.** Hubungan indeks bias dengan posisi puncak.

KESIMPULAN

Desain eksperimen untuk menggunakan fiber optik polimer berdiameter 3 mm sebagai sensor refractive index telah dibuat. Parameter yang digunakan untuk mencirikan perbedaan refractive index dari larutan gula adalah posisi puncak grafik atau intensitas maximum dari cahaya yang diterima oleh fiber receiver ketika posisi relative ujung-ujung fiber terhadap cermin berubah. Posisi puncak ini berubah secara linear terhadap perubahan

index bias larutan gula. Dengan $R^2 = 0,978$ dan sensitivitas 21.277 maka fiber sensor dari fiber optik polimer 3 mm merupakan fiber sensor baru yang layak mendapat perhatian.

DAFTAR PUSTAKA

- 1 Musso, M., Aschauer, R., Senbaum, A., Vasi, C., Wilhelm, E., 2000, *Interferometric Determination of the Refractive index of Liquid Sulphur Dioxide*, *J. Measurement Science & Technology*, Vol. 11, pp. 1714-1720.
- 2 Santiago Neto, RB., Mendonca, F, Lesche, B., 2004, *Determination of Absolute Values of Refractive Index of Liquids Using an Interferometric Method*, *Revista de Física Aplicada e Instrumentacao*, vol. 17, no. 2.
- 3 Macovez, R., Mariano, M., Finizio, SD., and Martorell, J., 2009, *Measurement of the Dispersion of Aand of Refractive Index Anomalies by Wavelength Dependent Non-linear Interferometry*, *J. Optics Express*, Vol. 17, No. 16.
- 4 Bahrim, C. and Hsu, WT., 2009, *Precise Measurements of the Refractive Indices for Dielectrics Using an Improved Brewster Angle Method*, *American Journal of Physics*, Volume 77, Issue 4, pp. 337
- 5 Kulkarni, V.K., Lalasangi, AS., Pattanashetti, II., Raikar, US., 2006, *Fiber Optic Micro-displacement Sensor Using Coupler*, *J. Optoelectronics and Advanced Materials* Vol. 8, No. 4, p. 1610 – 1612.
- 6 Culeac, IP, Nistor, IH., Iovu, MS., 2009, *Fiber optic method for measuring the intensity of IR radiation*, *J. Optoelectronics and Advanced Materials*, Vol. 11, No. 4., p. 380 – 385.
- 7 Argh, B., Mukherjee, S., Kumar, R., 2007, *Fiber Optic Sensing of Liquid Refractive Index*, *J. Sensors and Actuators B* 123 (2007) 594–605.
- 8 Gobi, G., Raj, SG., Sastikumar, D., 2009, *Measurement of Refractive Index of Liquids Using Fiber Optic Displacement Sensors*. *J. American Science* 2009:5(2) 13-17.